

APROXIMACIÓN GEOMÉTRICA DEL POLO NORTE GALÁCTICO
MEDIANTE ESTRELLAS DEL DISCO GALÁCTICO
GEOMETRICAL APPROXIMATION OF THE NORTH GALACTIC POLE
BY MEANS OF STARS FROM A GALACTIC DISK

LUDVING CANO[†] [1]

Planetario Max Schreier, Universidad Mayor de San Andrés
Calle Federico Zuazo No.1976, Casilla de Correos 3164
La Paz - Bolivia

(Recibido 24 de abril de 2022; aceptado 11 de agosto de 2022)

<https://doi.org/10.53287/upvs6575hp32y>

RESUMEN

Se presenta un método geométrico para aproximar las coordenadas ecuatoriales del polo norte galáctico, mediante estrellas que se encuentran en el disco de la galaxia. Primero se desarrolla el método usado y posteriormente con la ayuda de 4 catálogos estelares se aproximan las coordenadas. Se encontró que las aproximaciones no son muy certeras pero sí cercanas, puesto que los catálogos presentan puntos extremos o estrellas que no estén uniformemente distribuidas en el disco galáctico.

Descriptor: Catálogos astronómicos — Procedimientos matemáticos y técnicas informáticas — Espirales y disco galáctico.

Código(s) PACS: 95.80.+p — 95.75.Pq — 98.35.Hj

ABSTRACT

We present a geometrical method to estimate the equatorial coordinates of the North Galactic Pole, using stars from the Milky Way disk. First we explain the method used and then, with 4 astronomical catalogs, we obtain the coordinates. We found that the results are not very accurate but are pretty close. This is mostly because the catalogs have extreme points or stars that are not uniformly distributed in the galactic disk.

Subject headings: Astronomical catalogs — Mathematical procedures and computer techniques — Spiral arms and galactic disk.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando dirigimos la mirada al cielo nocturno, podemos observar que todas las estrellas son puntos brillantes, plasmados en una esfera imaginaria con el observador al centro. El ojo humano no nos permite diferenciar qué estrella está más lejos de otra, pero podemos ver una distancia angular entre dos cuerpos celestiales. La *astronomía posicional* estudia las *direcciones* en las cuales los astros son vistos, además es conveniente ubicar estas direcciones en términos de posiciones sobre una esfera llamada la *esfera celeste*, tal como lo menciona Smart & Green (1999).

En este trabajo se muestra un método geométrico para aproximar el polo norte galáctico (parte del sistema de coordenadas galáctico) en coordenadas ecuatoriales. Para este método se usan diferentes catálogos estelares con estrellas próximas al disco galáctico de la Vía Láctea. Se demuestra el método geométricamente y se presentan los resultados. Fi-

nalmente se dan las conclusiones y perspectivas del trabajo.

2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS

Existen múltiples sistemas de posición estelar, cada uno toma un distinto punto de origen, medidas o escalas y usan puntos como referencia. En este trabajo se usa principalmente el sistema Ecuatorial (AR-Dec) y el sistema de coordenadas galácticas (ℓ - b), que serán explicados en más detalle en la secuencia.

2.1. *Coordenadas ecuatoriales*

El sistema de coordenadas ecuatoriales tiene un concepto análogo al de la longitud y latitud terrestres. La diferencia entre el sistema terrestre y el celestial se encuentra en que, debido a la rotación terrestre, la esfera celeste parece moverse.

La **declinación** (δ) es el equivalente a la latitud y está medida en grados norte o sur del ecuador celeste. La **ascensión recta** (α) es análogo a la longitud y está medida hacia el este a través del ecuador

^[1]<https://orcid.org/0000-0001-7817-0614>

[†]lcanof@fcpn.edu.bo

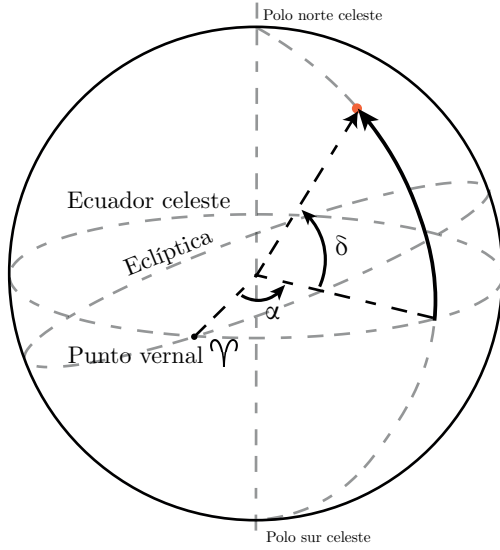


FIG. 1.— Coordenadas ecuatoriales, con origen el observador

celeste desde el punto vernal (Υ). La ascensión recta se mide en horas, donde 360° equivale a 24 horas, por lo que cada hora equivale a 15 grados (Carroll & Ostlie (2018)). Cabe notar, que la ascensión recta se mide en horas, minutos y segundos por su relación con el tiempo (hora) de observación de la misma, en conjunto con el ángulo horario local. Para más información puede referirse a Smart & Green (1999) (capítulo 2).

2.2. Coordenadas galácticas

El plano galáctico no está alineado con el plano ecuatorial celeste, tiene una inclinación de 62.87° . Así la UAI (Unión Astronómica Internacional) vio por conveniente crear un sistema de coordenadas para cuando se hable de estructura de la Vía Láctea.

La intersección del plano de la galaxia con la esfera celeste forma un nuevo ecuador, denominado el *ecuador galáctico*. La **latitud galáctica** (l) se mide desde el centro de la galaxia hacia el oeste (en grados) y **longitud galáctica** se mide desde el plano de la galaxia hacia el polo norte galáctico (en grados). Para este sistema de coordenadas el polo norte galáctico y centro de la galaxia tienen las siguientes coordenadas:

- Centro de la galaxia

$$l = 0^\circ ; b = 0^\circ$$

- Polo norte galáctico

$$b = 90^\circ$$

2.3. Época astronómica

La época de las coordenadas es una fecha precisa a la cual hacen referencias las coordenadas celestes calculadas para las estrellas. Esto toma en cuenta los movimientos de la tierra, tales como la precesión y nutación (Karttunen (2007)). Para este trabajo se

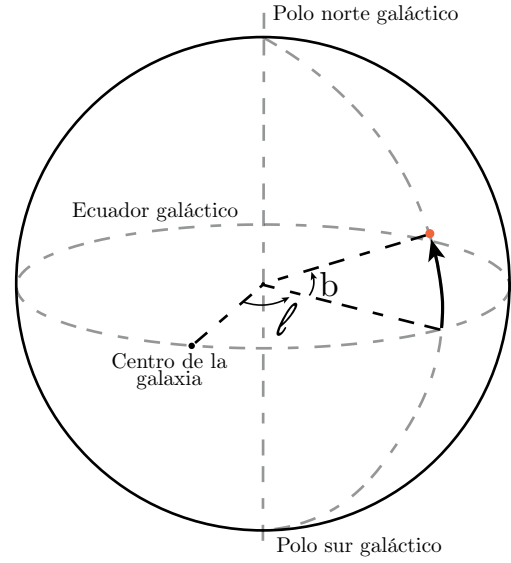


FIG. 2.— Coordenadas galácticas, con origen el observador

utilizaron catálogos con dos épocas: J2000 que se fija al primero de enero de 2000 (época juliana) y B1950 que hace referencia a la época besseliana. Por ejemplo las coordenadas del polo norte galáctico (NGP) en las distintas épocas es:

- En B1950:

$$\alpha_{\text{NGP}} = 12^h 49^m ; \delta_{\text{NGP}} = 27^\circ 24'$$

- En J2000:

$$\alpha_{\text{NGP}} = 12^h 51^m 26.282^s ; \delta_{\text{NGP}} = 27^\circ 07' 42.01''$$

Para transformar las coordenadas ecuatoriales de B1950 a J2000, primero convertimos α a grados decimales, y luego aplicamos las siguientes fórmulas, obtenidas de Duffett-Smith (1988).

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 0.6402565 + 0.278369 \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \tan(\delta_1) \quad (1)$$

$$\delta_2 = \delta_1 + 0.278369 \cdot \cos(\alpha_1) \quad (2)$$

Donde α_1 y δ_1 son las coordenadas en B1950 y α_2 y δ_2 son las coordenadas en J2000. Una vez obtenido α_2 , es posible convertirlo al formato de 24 horas.

3. CATÁLOGOS ESTELARES

Para realizar la aproximación se usaron 4 catálogos. Se buscaba que los catálogos contengan las coordenadas (galácticas o ecuatoriales) de estrellas en el plano galáctico. Para descargar la mayoría se utilizó el servidor *Vizier*, una herramienta muy útil y didáctica para buscar catálogos astronómicos, se buscó por catálogos de *milky way disk* y se procedió a analizar y descargar los mismos. Una guía para el uso completo de *Vizier* se encuentra en su página web ¹. Posteriormente se abrieron las tablas en formato VOTABLE en la herramienta Topcat, para posteriormente guardarla en formato *.csv*, y finalmente

¹ <http://cds.unistra.fr/tutorials>

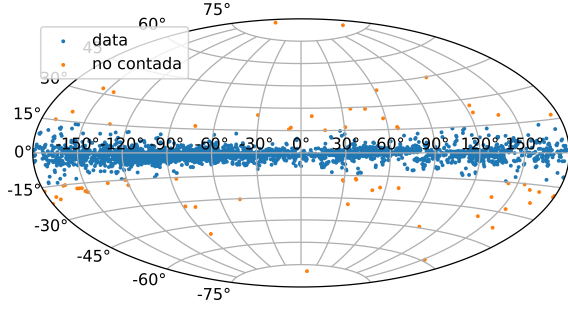


FIG. 3.— Estrellas de los catálogos. De naranja las estrellas que no serán contadas.

trabajar con los datos en lenguaje Python. Para una aproximación final se juntaron todos los catálogos (convirtiendo los necesarios a J2000).

1. *The DDO Database of Galactic Classical Cepheids* (Fernie et al. (1995)) Contiene las coordenadas ecuatoriales de 505 estrellas. Desde ahora será referido como *TORONTO*.
2. *OGLE Collection of Variable Stars* (Soszynski et al. (2014)) Contiene las coordenadas ecuatoriales de 1785 estrellas del disco galáctico. Referido como *OGLE*.
3. *Catalogue of Open Cluster Data* (Lynga (1995)) Este catálogo de 1150 cúmulos abiertos fue compilado por Gosta Lynga, parte del Observatorio Lund. Desde ahora será referido como *LUND*.
4. *General Catalogue of Variable Stars* (Samus' et al. (2017)) Contiene la información de 453 estrellas. Referido como *GCVS*.

Todos los catálogos cuentan con estrellas *espúreas*, las cuales se encuentran fuera del disco galáctico. En la figura 3 se encuentran las estrellas que no serán tomadas en cuenta para mejorar las aproximaciones, las estrellas con una b mayor a 15 grados son eliminadas.

4. MÉTODO DE APROXIMACIÓN

Para realizar una aproximación geométrica se cuenta con distintos catálogos estelares de estrellas en el plano galáctico. Se explica más sobre los catálogos en la sección *catálogos estelares*.

4.1. Ascensión recta

Para la aproximación de la ascensión recta del polo norte galáctico se utilizan dos estrellas que tengan igual declinación, como el disco es equidistante del polo norte galáctico se puede aproximar al meridiano del polo mediante la siguiente relación:

$$\alpha_{\text{NGP}} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} + \alpha_1 \quad (3)$$

Hemos propuesto que las estrellas que se encuentran en el disco galáctico sean dos estrellas con coordenadas δ_1, α_1 y δ_2, α_2 , una a la derecha del meridiano y otra a la izquierda del mismo, la diferencia

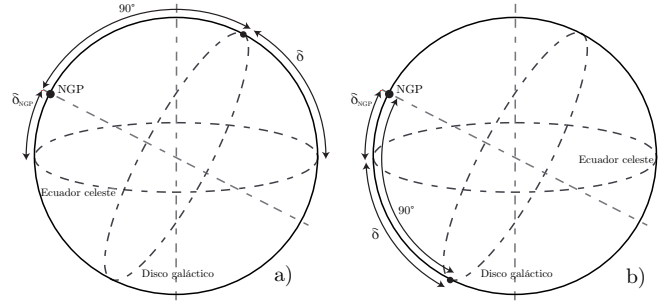


FIG. 4.— Aproximación de la declinación para a) estrellas con declinación positiva, b) declinación negativa de ascensiones rectas dividida entre dos sumada a la primera ascensión recta nos aproxima a la ascensión recta del punto medio entre las dos estrellas.

4.2. Declinación (método 1)

Para la primera aproximación de la declinación del NGP tomamos las estrellas con declinaciones máximas y mínimas, estas estrellas se encuentran en el meridiano del polo norte galáctico, por lo que debemos sumar (para estrellas con declinación negativa) o restar (declinaciones positivas) 90° y obtenemos una aproximación de la declinación del NGP, ver figura 4.

$$\delta_{\text{NGP}} = 90^\circ - \delta_{\text{MAX}} \quad (4)$$

$$\delta_{\text{NGP}} = 90^\circ + \delta_{\text{MIN}} \quad (5)$$

Debemos notar que las estrellas no están distribuidas exactamente en el plano galáctico, pueden estar por encima o debajo del mismo, por lo que para el método se tomó una cantidad n de estrellas con mayor declinación absoluta, así se puede tener una mejor aproximación.

$$\delta_{\text{NGP}} = 90^\circ - \frac{1}{n} \sum_i^n |\delta_i| \quad (6)$$

Este método depende mucho de la cantidad n de estrellas que tomemos, un valor arbitrario.

4.3. Declinación (método 2)

Este método usa la aproximación ya obtenida de la ascensión recta, para tomar un rango dado $\Delta\alpha$ (por ejemplo 15^m) y realizar una aproximación similar que el anterior método, la diferencia es que ahora sabemos que estamos en el meridiano (o alrededores) del meridiano del NGP. Ahora no se toma un valor arbitrario de estrellas, sino que nos basamos en estrellas que nos darán una mejor aproximación.

$$\delta_{\text{NGP}} = 90^\circ - \frac{1}{n} \sum_i^n |\delta_i| \quad (7)$$

$$\alpha_{\text{NGP}} - \Delta\alpha \leq \alpha_i \leq \alpha_{\text{NGP}} + \Delta\alpha$$

Si las estrellas se encuentran uniformemente distribuidas por encima y debajo del disco galáctico, esta aproximación obtendrá mejores resultados.

Catálogo	AR	Std AR
LUND	12 h 45.8 m	0.43
OGLE	12 h 49.4 m	0.19
TORONTO	12 h 43 m	0.49
GCVS	12 h 52.3 m	0.77
TOTAL	12 h 45.9 m	0.36

TABLA 1
RESULTADOS DE LA APROXIMACIÓN DE LA ASCENSIÓN RECTA

Catálogo	Estrellas	n	Decl	Std Decl
LUND	1096	150	25.91	3.01
OGLE	1784	400	26.19	1.35
TORONTO	503	100	27.13	1.87
GCVS	201	40	27.79	1.97
TOTAL	4028	650	25.90	2.10

TABLA 2
RESULTADOS DE LA APROXIMACIÓN DE LA DECLINACIÓN
(PRIMER MÉTODO)

Catálogo	Decl 2	Std Decl 2
LUND	30.35	8.33
OGLE	25.85	1.68
TORONTO	28.75	4.02
GCVS	30.09	4.30
TOTAL	26.85	4.02

TABLA 3
RESULTADOS DE LA APROXIMACIÓN DE LA DECLINACIÓN
(SEGUNDO MÉTODO)

5. RESULTADOS

Los datos utilizados, así como el código en lenguaje Python 3 y sus dependencias estarán disponibles en GitHub.

En la ascensión recta se obtuvieron los siguientes resultados: (ver tabla 1)

Sabiendo que el valor para J2000 de ascensión recta es de 12h 51m los valores se acercan bastante. Se presenta también la desviación estándar, que se encuentran en el orden de 11 minutos (OGLE) a 46 (GCVS).

Respecto a la declinación, aplicando el primer método desarrollado, y tomando diferentes valores de n para la primera aproximación de la declinación tenemos los siguientes resultados (tabla 2):

Se puede observar una buena aproximación para todos los catálogos excepto LUND, ya que el valor teórico de la declinación es de 27.11° . El valor de n es arbitrario para cada catálogo, se trató de que sea aproximadamente un quinto de la cantidad total de estrellas.

El segundo método, aunque se utilizó estrellas con AR cercana a la del NGP no obtuvo los resultados esperados, en una mayoría de casos se usó un $\Delta\alpha = 0.25h$ (ver tabla 3).

La diferencia entre ambos métodos fue la cantidad de estrellas, en el primer método usábamos un número arbitrario de estrellas, mientras en el segundo se usaba a toda estrella que cayera en el rango de α . En el siguiente gráfico se puede observar

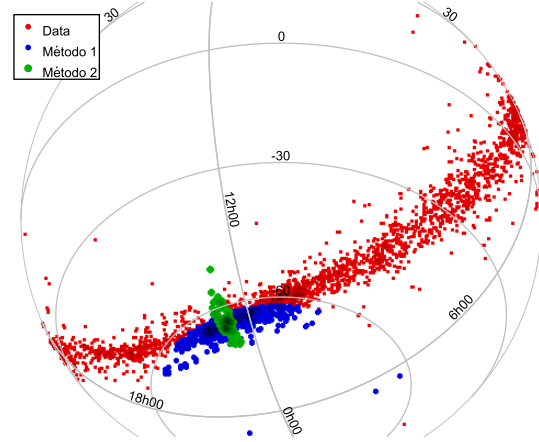


FIG. 5.— Aproximaciones de la declinación del NGP, se observa los puntos generadores de meridianos de ambos métodos.

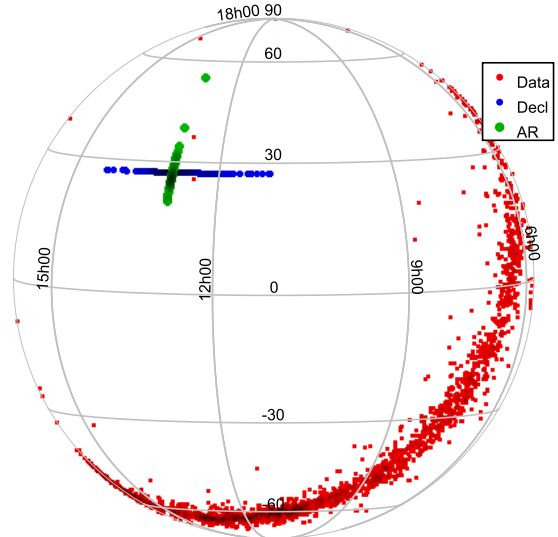


FIG. 6.— Aproximaciones del Polo Norte Galáctico

la diferencia de cantidad de estrellas utilizada (ver figura 5).

6. DISCUSIÓN

Si bien las aproximaciones son simples y se basan en principios geométricos, el catálogo de estrellas no es perfecto. Los catálogos usados presentan estrellas que no están cerca del disco galáctico, lo que causa puntos extremos que afectan al promedio, esto fue solucionado con la limpieza de estrellas espúreas. Si bien en la figura 3 se observa que las estrellas están distribuidas uniformemente por encima y debajo del disco, estudiar su verdadera distribución puede ser motivo de un estudio más profundo de los catálogos usados. Un gráfico interesante es el que se grafica los datos de aproximación de ambas coordenadas (ver figura 6), para complementar la coordenada faltante se usó el valor teórico de la misma. En el caso que la aproximación sería perfecta habría la misma cantidad de puntos por encima, debajo y lados, pero no es el caso, especialmente en la declinación.

7. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se presentó un método geométrico para aproximar las coordenadas del polo norte galáctico, el mismo asume que las estrellas se encuentran uniformemente distribuidas por encima y por debajo del polo norte galáctico. Con el uso de 4 catálogos de estrellas del disco galáctico se obtuvieron diferentes aproximaciones, unas mejores que otras. La mejor aproximación de la declinación con el primer y segundo método es el catálogo TORONTO con 27.13° y 28.75° , respectivamente. Para la aproximación de la ascensión recta el catálogo OGLE con 12h 49.4m.

Los catálogos usados tienen estrellas que pueden generar aproximaciones extremas, también pueden contar con pocos datos en regiones de interés (puntos máximos de declinación). Sin embargo este método es aplicable a cualquier catálogo de estrellas del

disco de la galaxia.

Se propone mejorar el código en Python paulatinamente, buscando aproximaciones numéricas para variar el número de estrellas usadas en los métodos, o variar el rango que se usa para el segundo método de declinación, así también intentar utilizar nuevos catálogos que se irán actualizando en conjunto al GitHub adjunto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Planetario Max Schreier y a la Carrera de Física de la Universidad Mayor de San Andrés por las facilidades que brindan para realizar investigación en las mejores condiciones.

Conflicto de intereses

El autor declara que no hay conflicto de intereses con respecto a la publicación de éste documento.

REFERENCIAS

- Carroll B. W. & Ostlie D. A. 2018, *An introduction to modern astrophysics*, 2nd edn. (Cambridge University Press)
- Duffett-Smith P. 1988, *Practical Astronomy with your calculator*, 3rd edn. (Cambridge University Press)
- Fernie J., Evans N., Beattie B. & Seager S. 1995, A DATABASE OF GALACTIC CLASSICAL CEPHEIDS
- Groenewegen M. A. T. 2018, *Astronomy & Astrophysics*, **619**, A8
- Inno L., Rix H.-W., Stanek K. Z., Jayasinghe T., Poggio E., Drimmel R. & Rotundi A. 2021, *The Astrophysical Journal*, **914**, 127
- Karttunen H. 2007, *Fundamental astronomy* (Springer)
- Lynga G. 1995, *VizieR Online Data Catalog*, VII/92A
- Samus' N. N., Kazarovets E. V., Durlevich O. V., Kireeva N. N. & Pastukhova E. N. 2017, *Astronomy Reports*, **61**, 80
- Smart W. M. & Green R. M. 1999, *Textbook on spherical astronomy* (Cambridge [U.A.] Cambridge Univ. Press)
- Soszynski I., Udalski A., Szymanski M. K., Pietrukowicz P., Mroz P., Skowron J., Kozłowski S., Poleski R., Skowron D., Pietrzynski G., Wyrzykowski L., Ulaczyk K. & Kubiak M. 2014, arXiv:1410.1542 [astro-ph]